



MONITOREO ENERGÉTICO Y ESTRATEGIAS DE RETROFIT PARA VIVIENDAS SOCIALES EN CLIMA FRÍO

ENERGY MONITORING AND RETROFIT STRATEGIES FOR SOCIAL HOUSING IN A COLD CLIMATE

MICAELA ANDERSEN

Universidad Nacional de La Plata, Instituto de Investigaciones y
Políticas del Ambiente Construido,
Facultad de Arquitectura y Urbanismo.
Buenos Aires Argentina
micaela_andersen@hotmail.com

CARLOS ALBERTO DISCOLI

Universidad Nacional de La Plata, Instituto de Investigaciones y
Políticas del Ambiente Construido,
Facultad de Arquitectura y Urbanismo.
Buenos Aires Argentina
discoli@rocketmail.com

GRACIELA MELISA VIEGAS

Universidad Nacional de La Plata, Instituto de Investigaciones y
Políticas del Ambiente Construido,
Facultad de Arquitectura y Urbanismo.
Buenos Aires Argentina
gachiviegas@yahoo.com.ar

IRENE MARTINI

Universidad Nacional de La Plata, Instituto de Investigaciones y
Políticas del Ambiente Construido,
Facultad de Arquitectura y Urbanismo.
Buenos Aires Argentina
irene_martini@yahoo.com.ar

RESUMEN

El presente trabajo aborda la aplicación de tecnologías y pautas para el reciclado masivo de viviendas urbanas representativas. Se evalúa aquí el comportamiento energético actual en una vivienda social "tipo" con un alto nivel de replicabilidad. Para ello, se cuantifica el potencial ahorro energético al aplicar diversas estrategias de mejoramiento de la envolvente edilicia que permitan arribar a valores admisibles de pérdidas térmicas, de acuerdo con la normativa argentina. Se describe la tecnología, el comportamiento térmico y energético de una vivienda perteneciente al barrio "645 Viviendas" (desarrollado por El Instituto de Planificación y Promoción de la Vivienda), ubicada en la ciudad de S. C. de Bariloche, en la zona bioambiental IV, muy fría. Este barrio presenta una emergencia energética de gran magnitud, ya que no se encuentra conectado a la red de gas natural. Posteriormente, se examinan los resultados de la auditoria energética de 2016 y se muestra la simulación térmica realizada en Ecotect Analysis 2011, incorporando las condiciones reales de uso auditadas. Ajustado el modelo, se analizan 24 estrategias de mejoramiento de la envolvente térmica, posibilitando la identificación de las estrategias de mayor impacto en la reducción de la demanda energética.

Palabras clave

evaluación higrotérmica, simulación energética, vivienda social, retrofit.

ABSTRACT

This research studies the implementation of technologies and guidelines for the large-scale retrofitting of representative urban housing. It evaluates the energy performance of a typical social housing dwelling with a high level of replicability. To this end, the potential energy savings resulting from the application of various building envelope improvement strategies in accordance with Argentine regulations are calculated. The technology and the thermal and energy behavior of a dwelling located in the "645 Dwellings" neighborhood (645 Viviendas) built by the Institute of Planning and Promotion of Housing (IPPV) in the city of San Carlos de Bariloche are described. This neighborhood presents a major energy emergency, since the houses are located in bio-environmental zone IV (very cold) and are not connected to the natural gas grid. Subsequently, the results of the 2016 energy audit are examined and a thermal simulation with Ecotect Analysis 2011 software incorporating the actual audited conditions of use is shown. After adjusting the model, 24 thermal envelope improvement strategies are analyzed in order to identify those with the greatest impact on energy demand reduction.

Keywords

hygrothermal analysis, energy simulation, social housing, retrofit

INTRODUCCIÓN

En los países en desarrollo, particularmente en América Latina, se presentan problemas complejos producto del rápido crecimiento de las áreas urbanas, tales como la explotación de los recursos naturales, la contaminación ambiental y las emisiones de gases de efecto invernadero (Cerón Palma et al., 2013). Este crecimiento urbano acelerado es resultado de un crecimiento poblacional que demanda vivienda para su hábitat. Ferguson y Navarrete (2003) mencionan en su artículo que, en países en vías de desarrollo, el 70% de la vivienda de los sectores de menores recursos es producto de un crecimiento progresivo y usualmente generado a partir de ocupación de tierras, de manera informal y por autoconstrucción. Pero si nos enfocamos en la respuesta que el Estado otorga sobre la demanda previamente mencionada, denominada como *vivienda social*, Rodríguez y Sugranyes (2004) manifiestan que las políticas en este campo en Latinoamérica se han enfocado en reducir el déficit cuantitativo y no cualitativo de las mismas. La mayor cantidad de unidades de viviendas se construyen con una reducida inversión, por lo que presentan baja calidad constructiva. Esta situación trae aparejados dificultades de habitabilidad a largo plazo y, como consecuencia, se presentan problemas en la salud de sus habitantes, los que en general responden a sectores sociales de menores ingresos.

La problemática antes mencionada ha sido ampliamente estudiada en investigaciones en el contexto latinoamericano. En México, García Rodríguez et al. (2015) apunta a evaluar la sustentabilidad en la vivienda social y concluye en la necesidad de reforzar las prácticas sustentables locales. Numerosos trabajos evalúan, de igual forma, la sustentabilidad social de los proyectos habitacionales y observan que los mismos no benefician a los sectores más vulnerables en países como Chile y Colombia (Reis y Lay, 2010; Pérez, 2011). En el caso cubano, se registraron criterios de tecnología apropiada en la vivienda social en los años 60 los cuales se fueron perdiendo con sistemas prefabricados (González Couret, 2009).

En Argentina también se verifica esta situación. Según el Censo Nacional de Población Hogares y Viviendas del 2010, el 16.4% de las viviendas presenta algún tipo de deficiencia. Para subsanar este escenario, el Estado desarrolla políticas públicas de construcción de planes de vivienda, ejecutadas, entre otras operatorias, a través del Fondo Nacional de la Vivienda (FONAVI). No se cuenta con información oficial acerca de la cantidad de vivienda financiada por el Estado respecto del total de viviendas, pero de acuerdo con estimaciones realizadas, y considerando aquellos programas de vivienda que representan un número considerable, al año 2012 se contaba con un total

de 1.500.298, que corresponde al 13.3% respecto del total de vivienda en el país. Las operatorias FONAVI registradas oficialmente entre 1976 y 2009 son de 916.283 viviendas (Ministerio de Infraestructura, 2011). Sin embargo, lo que se ha podido observar es que éstas no responden tipológicamente a los requerimientos climáticos del sitio y presentan severas deficiencias de habitabilidad originadas por la falta de aislación y almacenamiento térmico de la envolvente. Dicha realidad genera la necesidad de un mantenimiento constante, debido a la presentación de patologías de la construcción, como por ejemplo la condensación superficial e intersticial. Asimismo, la falta de aislaciones térmicas en la envolvente, junto con el mal comportamiento de uso por parte de los usuarios, y el uso masivo de calefactores de baja eficiencia (Juanicó y González, 2008), explican los altos consumos de energía que se pueden registrar. Otros autores también han advertido muy altos consumos de gas natural en calefacción en viviendas en diferentes regiones, tales como La Plata (Rodríguez et al., 2012; Vagge, Czajkowski y Filippín, 2008), Río Grande (Díaz y Czajkowski, 2006); Comodoro Rivadavia (Mercado et al., 2008). Estudios sobre la localidad de Mendoza (Mercado, Estévez y Filippín, 2010) se abocan a las problemáticas de habitabilidad de las viviendas sociales y plantean soluciones económicas de mejoramiento mediante simulación. En todos los casos, se observó la falta de aislaciones térmicas como una problemática recurrente, más allá del clima de emplazamiento de las viviendas, justificándose, por tanto, un potencial de mejora de hasta el 75% en reducción del consumo.

Por otro lado, en el año 2016, el Gobierno Nacional Argentino decidió aplicar un aumento tarifario del gas natural de red en un promedio de 203% de lo facturado en el mismo bimestre del año anterior para la categoría residencial, con topes de hasta 400%. En los próximos años se prevé aplicar revisiones semestrales en cada año, hasta arribar al 2022 a un nivel cero de subsidios¹. Los exponenciales aumentos, junto con la alta dependencia del uso de combustibles en el sector residencial, principalmente en el período invernal, plantean un panorama alarmante a la hora de mantener las condiciones de confort y habitabilidad requeridas en las viviendas, como también un preocupante dilema socio-energético, sobre todo en regiones con climas rigurosos como son las zonas bioclimáticas frías y muy frías (IRAM 11603, 1996).

Teniendo en cuenta el escenario actual, se advierte que el sector residencial posee un gran potencial de ahorro energético, por lo cual es menester analizar estrategias para disminuir la tendencia de aumento de consumo, en especial de fuentes fósiles, y sus consecuencias ambientales. Con ese fin, se considera prioritario mejorar la eficiencia de la envolvente de la edificación existente, promoviendo la

[1] Boletín Oficial, resolución 212 07/10/2016. Ministro de Energía, Juan José Aranguren.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Humedad Relativa [%]	52.56	53.94	61.32	68.54	75.08	79.52	78.27	75.61	66.95	61.20	57.16	53.83	65.33
Temp Media [°C]	15.77	15.63	11.95	7.89	-4.95	3.12	2.19	2.98	5.19	8.17	10.94	13.56	8.43
Temp Med Máx [°C]	22.77	23.16	19.71	14.59	10.41	7.24	6.86	8.22	11.67	14.95	17.88	20.55	14.83
Temp Med Mín [°C]	6.74	6.74	4.81	2.70	0.54	-0.36	-1.52	-1.10	-0.20	1.81	3.88	5.92	2.46
Precipitaciones [mm]	22.43	17.96	912.90	60.20	19.50	42.10	30.10	14.40	21.00	31.00	29.90	27.10	325.10
TDMN [°C]	-6.60												
Amplitud térmica	Entre 7.0°C y 16.4°C (mayor amplitud en los meses estivales)												
pv. [Pa]	1728	1707	1397	1008	1094	638	548	581	884	994	947	1186	1002
Idir. [MJ/m²]	28.72	24.91	19.13	12.44	7.98	5.93	6.68	10.30	16.23	22.55	27.49	29.67	
Idif. [MJ/m²]	3.12	2.78	2.47	2.03	1.64	1.49	1.57	1.85	2.25	2.66	3.02	3.18	
Tot. diaria s/plano [MJ/m²]	31.84	27.69	21.60	14.47	9.62	7.42	8.25	12.15	18.48	25.21	30.51	32.85	

Tabla 1. Datos climáticos de la localidad. Fuente: Elaboración de los autores en base a temperaturas, humedad y precipitaciones: SMN (1985 a 2012); radiación Solar: Geo Sol Met. Día claro de Hottel.



Figura 1. Ubicación geográfica de la vivienda estudiada en Bariloche, Barrio 645 Viviendas. Fuente: Elaboración de los autores.

conservación de la energía y el uso eficiente del recurso, con niveles normados de habitabilidad.

En ese contexto, el objetivo del trabajo aquí expuesto es evaluar detalladamente la habitabilidad de una vivienda, su equipamiento para climatización y los sistemas constructivos que componen la envolvente. Para ello, se realiza una auditoría termo-energética de una vivienda en uso, donde se sientan fundamentos del estado real de ese tipo de vivienda y, en base a los valores obtenidos, se establecen acciones que buscan mejorar las variables termo-físicas y las condiciones de uso, a partir de las cuales se cuantificará el potencial ahorro energético específico. Dichas acciones tienen como meta la aplicación masiva de diversas estrategias de mejoramiento de la envolvente y, asimismo, plantear niveles de ahorro energético a través de la aplicación desagregada y/o integrada de las medidas propuestas. A partir de los resultados del análisis tipológico y tecnológico, replicar dichas medidas en las viviendas de similares características, favoreciendo la habitabilidad y minimizando la demanda energética a escala barrial.

ÁREA DE APLICACIÓN, SELECCIÓN DEL CASO Y CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVA.

El estudio se realizó en la localidad de San Carlos de Bariloche, la segunda ciudad con mayor población de la región patagónica según el censo 2010. La misma se encuentra en la Latitud 42.2 S, Longitud 71.0 O, a una

Altitud de 840 msnm. Según la clasificación bioambiental de la República Argentina de la Norma IRAM 11603, está ubicada en la zona bioambiental IV, "Muy fría", y los Grados día de calefacción para alcanzar 18°C son de 3.475. El área urbana de Bariloche aloja aproximadamente a 120.000 habitantes, en unas 40.123 viviendas (INDEC, 2010). Según estudios llevados a cabo en el grupo de investigación, 83% de las viviendas son privadas, 70% no comparten medianeras, 48% tienen dos pisos, y el material predominante usado para paredes es de ladrillo cerámico hueco sin aislación térmica en un 41%. También se determinó que las viviendas que más consumen por metro cuadrado son aquellas expuestas y más pequeñas (Andersen et al., 2016), siendo los requerimientos energéticos anuales de 196 GJ/año (4800 m³ de gas y 2300 kWh eléctrico) para una vivienda promedio de 99,7 m², principalmente para calefacción (González, Crivelli y Gortari, 2006).

De las viviendas consideradas de calidad satisfactoria por el INDEC, el 12% corresponden a viviendas sociales construidas por planes FONAVI desde el año 1975, por lo tanto, en la localidad hay una presencia de 3.991 viviendas de tipologías similares.

En función de lo expuesto, este trabajo plantea evaluar el comportamiento energético de una vivienda "tipo", perteneciente al "Barrio 645 viviendas", en su estado actual. Dada su representatividad tipológica y tecnológica, dicha vivienda permite dimensionar el potencial de replicabilidad de las medidas a tener en cuenta.

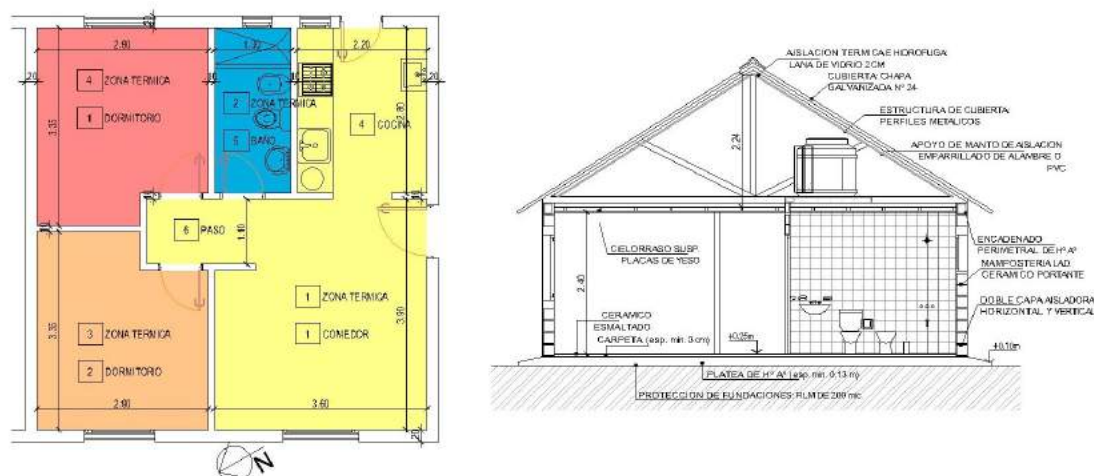


Figura 2. Planta y el corte arquitectónico de la vivienda. Fuente: Elaboración de los autores.

	K (1)		Transmitancia admisible (W/m ² K)(2)			S	V (m ³)	Qt (w/Km ³)	Gviv(3) (w/Km ³)	Gadm (w/Km ³)
			A	B	C					
C1	1,6	Kcal/hm ² K	<=0,26	>0,26<=0,67	>0,67<=1	61,6 m ²	163	2,08	2,78	1,72
M1	1,54	Kcal/hm ² K				82,7 m ²				
M2	1,5	Kcal/hm ² K				1,9 m ²				
M3	1,38	Kcal/hm ² K				8,1 m ²				
M4	1,54	Kcal/hm ² K				16,9 m ²				
Vn	5,44	Kcal/hm ² K				5,4 m ²				
Pn	0,54	Kcal/hm ² K				2,7 m ²				
Piso	1,48	Kcal/h.m K				28,4 m				

Tabla 2. Valores de transmitancia térmica de cada elemento de la envolvente térmica del estado base; pérdidas térmicas por transmisión que representan y su relación con el coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Fuente: Elaboración de los autores.

El barrio es de baja densidad y pertenece al Programa Federal II Reconvertido. El sitio donde se encuentra implantado presenta un microclima con mayor rigurosidad ya que se localiza a una altitud de 940 msnm y en zona de estepa; la humedad relativa es muy baja, lo que genera una mayor amplitud térmica y cuenta con mayor exposición a los vientos predominantes del Oeste, Noroeste y Suroeste. Al no tener acceso a la red de gas natural, por no estar finalizadas las obras del Gasoducto Cordillerano que abastecen a toda la localidad, dicho emplazamiento se encuentra en una emergencia energética de gran magnitud. Para subsanar el problema, la provincia de Río Negro entrega 4 Cilindros de gas propano de 45 kg de manera mensual, situación que continuará al menos hasta 2017. El costo de dicha solución provisoria representa más de 2 millones de pesos por mes (Diario ANB, 2016).

En la Figura 2 se observa la planta y el corte de la vivienda seleccionada que se encuentra apareada por la medianera Este. Posee una superficie cubierta de 50 m² de planta, con dos dormitorios, un baño, una cocina y un living comedor. El volumen es de 163.2 m³, y se destacan su reducido índice de compacidad (Mascaró, 1983), de 35 %, y su alto factor de exposición (Czajkowski y Gómez, 1994), de 0.82. Estos indicadores generales afectan negativamente el confort térmico, dado su alto nivel de disipación térmica,

influyendo fuertemente el consumo energético de la vivienda. La envolvente vertical es de ladrillo hueco de 0.18 m de espesor sin aislación; el piso está conformado por una estructura resistente de placa de hormigón, carpeta de nivelación y piso cerámico; y la cubierta está compuesta de una estructura liviana de acero, chapa aluminada de perfil sinusoidal, lana de vidrio de 2,5 cm de espesor, ático ventilado y cielorraso suspendido de placa de roca de yeso de 1cm de espesor.

La vivienda posee dos equipos de calefacción, un tiro balanceado de 5000 Kcal/h en el living comedor y un tiro balanceado de 3500 Kcal/h en el dormitorio orientado al SO. Estos son utilizados durante 10 meses en el año y luego se mantienen en piloto. Dado que la provincia provee el gas envasado a cada vivienda (4 tubos de 45 kg por mes), independientemente de la demanda, no hay un registro real del consumo y de la disponibilidad de energía: tanto para agua sanitaria, como para cocción y calefacción es de 2293kWh mensuales.

En la Tabla 2 se expresan los valores de transmitancia térmica de la envolvente y su relación con los valores admisibles (IRAM 11605,1996). Se observa allí que los elementos de cubierta y de muro están por debajo del nivel propuesto por la norma, salvo algunas excepciones. Se realiza el

cálculo de coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor (IRAM 11604, 1996) con renovaciones de aire por hora “ n ” igual a 2. De ello resulta que el valor G del edificio es 1.6 veces superior al G_{adm} . Esto implica una baja habitabilidad y justifica una alta demanda de insumos energéticos para mantener niveles básicos de confort térmico.

En función de los antecedentes y el caso de estudio detallado, se expone en seguida la metodología utilizada en la definición de estrategias para el mejoramiento de la envolvente térmica.

METODOLOGÍA E INSTRUMENTACIÓN DESARROLLADA PARA LA DEFINICIÓN DE ESTRATEGIAS ENERGÉTICAS.

El presente trabajo se desarrolla en el marco de una tesis doctoral² y un proyecto de investigación (PIP 097 2012-2014), ambas investigaciones orientadas al análisis del universo representativo de viviendas “tipo” y tecnologías difundidas en el proceso de construcción. Sus objetivos se centran en la evaluación y propuesta de acciones e innovaciones proyectuales y tecnológicas, tendientes al reciclado masivo de la envolvente edilicia residencial existente y a la aplicación de técnicas apropiadas de “diseño pasivo”, como aporte hacia una mayor eficiencia en el consumo energético y a la consecuente mejora en las condiciones de confort interior.

Para analizar la vivienda “tipo”, se realizó una auditoría energética *in situ* durante el período invernal, relevando aspectos físico-constructivos de la vivienda, equipamiento, formas de uso y niveles de habitabilidad. El monitoreo llevado a cabo permitió establecer valores reales de comportamiento. Paralelamente, se relevaron a través de una encuesta estructurada los usos, costumbres y percepciones de los ocupantes respecto al hogar y a sus diferentes ambientes, en aras de definir los horarios de ocupación, tiempos de uso del equipamiento y ganancias internas (Andersen, Hernández y Discoli, 2017).

En base a los valores obtenidos por monitoreo, se efectuó un modelo de vivienda base por simulación dinámica utilizando el software Autodesk Ecotect Analysis. A dicho modelo, una vez ajustado y validado con los parámetros

auditados, se le aplican medidas de mejoramiento en la envolvente, evaluando: diferentes tecnologías de retrofit; valores de transmitancia térmica de los sistemas constructivos propuestos; y valores de infiltración de aire.

AUDITORIA ENERGÉTICA Y DE USOS

En esta fase, se ejecutó un relevamiento de las características constructivas, equipamiento y ocupación, a través de una encuesta detallada³ y una entrevista personal, con el fin de recabar aspectos relacionados con la percepción térmica, los horarios y actividades que se desarrollan en la vivienda, preferencias de usos de los espacios, y recopilación de facturas de energía eléctrica. En cuanto a las monitorizaciones físicas, se evaluó la temperatura, exterior e interior y humedad relativa en tres habitaciones (con Stations Data Loggers U12-012 HOBO, desde el 26 de agosto al 22 de septiembre de 2016) y se corroboró la utilización de los materiales descritos en la planimetría. Por otro lado, se realizaron las siguientes actividades: el reconocimiento de pérdidas térmicas superficiales se realizó a través de imágenes termo gráficas, utilizando una cámara FLIR C2 (el procedimiento de mediciones se hizo según la norma ISO 6781:1883 modificada), para la identificación de puentes térmicos; relevamientos de temperaturas en superficies de materiales expuestos (muros, carpinterías y pisos), empleando un termómetro infrarrojo tipo K LUTRON modelo TM-909; relevamientos de humedad en superficies y puentes térmicos, usando un medidor de humedad superficial DELMHORST BD-2100; nivel base de infiltraciones de aire, a través del equipo y software del Minneapolis Blower Door System Modelo 3; y, finalmente, se analizó de forma cualitativa los posibles puntos de infiltraciones de aire a través de la medición de temperatura y velocidad del aire, mediante un anemómetro de hilo caliente LUTRON, modelo AM-4202. En esta auditoría se obtuvieron los parámetros reales para ajustar el modelo base de la simulación.

SIMULACIONES DINÁMICAS

Las simulaciones dinámicas (hora a hora) se llevaron a cabo a partir de un modelo teórico zonificado por locales (zonas térmicas), que permitió evaluar la demanda energética mensual y anual, según un nivel de confort térmico normado, cotejado con los valores auditados.

Se utilizó el software Autodesk Ecotect Analysis, desarrollado en la Escuela de Arquitectura de la Universidad de Australia Occidental, el que cuenta con una interfaz de modelización de dos y tres dimensiones, integrada con una amplia gama

[2] Arq. Andersen Micaela. Tesis doctoral CONICET. Doctoranda en Ciencias Área Energías Renovables, Universidad Nacional de Salta. Tesis denominada: “Evaluación de técnicas de reacondicionamiento de la edilicia residencial existente en climas fríos; caso de estudio: Ciudad de S.C. de Bariloche, Río Negro, Argentina”.

[3] Véase: http://www.e-encuesta.com/r/QDHRvq_2SM70buF3EDcy8g/

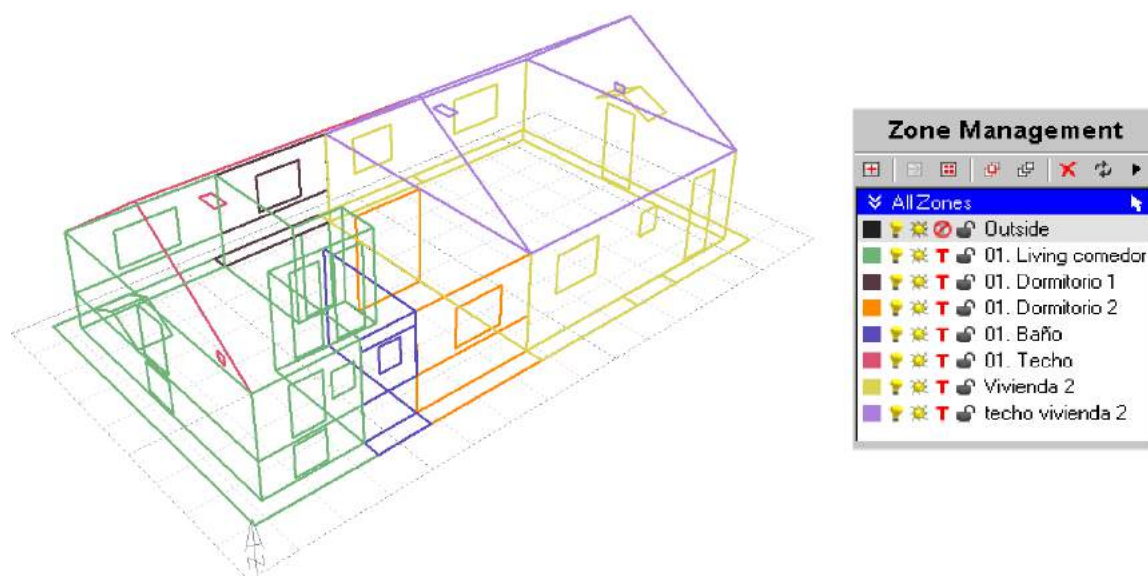


Figura 3. Modelo térmico con detalle de zonas térmicas. Fuente: Elaboración de autores.



Figura 4. Condiciones de asoleamiento de la vivienda según matriz de 3x3 (variaciones horarias y estacionales). Se observa que la fachada NE se mantiene asoleada durante todo el año en los horarios de mayor radiación solar. Las fachadas con mayor sombra son las E y O. La cara S recibe sol solo en pocas horas de la mañana en verano. Fuente: Elaboración de los autores.

de funciones para análisis solar, térmico y lumínico, entre otras. Además, este usa un método simplificado basado en el Método de Admitancia del Chartered Institute of Building Services Engineers (CIBSE Admittance Method), para determinar temperaturas internas y cargas térmicas. Emplea un algoritmo térmico flexible, sin restricciones en cuanto a la geometría del edificio o el número de zonas térmicas que pueden ser analizadas simultáneamente. Utiliza las características termo-físicas de los materiales como la admitancia térmica y los factores de retraso y decrecimiento térmico para definir la respuesta dinámica en régimen transitorio (Boutet et al., 2010).

Descripción del modelo base

Con el objetivo de definir las condiciones reales del entorno, se estableció una base climática según la localización geográfica y se corrigió la base climática EPW (Energyplus Weather Format) en base a las temperaturas y humedades registradas en el período monitorizado. Así también, se orientó el modelo a 30° con respecto al norte, coincidente con la vivienda original, y se construyeron las condiciones generales del entorno para desarrollar una evaluación solar cercana a la real.

Para analizar los ambientes interiores, se definieron zonas térmicas por locales (Figura 3). Aquellos locales que no presentaban divisiones delimitadas por carpinterías o por vanos, fueron considerados como una única zona térmica, como es el caso de la cocina y el living comedor. Se determinaron, de igual forma, las zonas no térmicas, incluyendo obstáculos (vivienda apareada y viviendas vecinas, alero de ingreso) que tienen incidencia directa en el porcentaje de sombra arrojada sobre el edificio. Se incluyó, como zona térmica, la cámara de aire ventilada entre el cielorraso y la cubierta de chapa.

Asimismo, se indicaron las configuraciones de los vanos (puertas y ventanas), según planos oficiales, y las propiedades termo físicas de los sistemas constructivos de cada una de las superficies componentes (densidad, conductividad térmica y calor específico), en base a las propiedades de los materiales de construcción identificados en la norma IRAM 11601, 2002.

Por otro lado, se replicó el entorno existente de la vivienda, considerando la vivienda colindante y los posibles obstáculos para la ganancia solar en los meses de mayor rigurosidad (Figura 4).

Con el propósito de completar la carga de datos y poder simular la vivienda base, se definieron las condiciones de uso para cada local analizado en base a un monitoreo térmico y encuestas al usuario, perfiles de ocupación, número de usuarios por zona térmica, nivel de actividad, sistemas de ventilación, fracción de infiltración y factor de sensibilidad de cada zona a la velocidad externa del viento. Se estableció, en este punto, la renovación de aire en base al valor obtenido por el ensayo de Blower Door a 50 pascales. Para incluir un valor correspondiente a la vivienda

en un estado de presión cercano al real, se calcularon las renovaciones de aire a presiones de viento promedio anuales. Se consideró, por lo tanto, la infiltración de la vivienda base de 3.6 ACH (Air Changes per Hour) y una velocidad de sensibilidad de aire de 0,25m/s, siendo éste un valor determinado por la encuesta de percepción al usuario. Se determinó la presencia de 1 persona, vestida con 1 clo en todos los locales, salvo el baño donde se simuló en ropa interior (0,2 clo), en estado predominantemente sedentario (70W). En cuanto al diseño de las condiciones interiores, se estableció una humedad de diseño de 60%.

Por último, se definió una banda de confort de 18°C a 25°C, según cálculo basado en el confort adaptativo para la localidad en estudio (ASHRAE 55); este parámetro no se definió en función a las temperaturas registradas en la auditoría, ya que las mismas eran muy superiores a diversos modos de cálculo de confort (Andersen, Hernández y Discoli, 2017). Se corrió el programa basándose en una inyección de energía con una eficiencia del 100% (Full air conditioning), para dimensionar la demanda energética.

Una vez ajustado el modelo a las condiciones reales, este permite evaluar diferentes estrategias orientadas a mejorar la eficiencia de la vivienda y a mantener una buena habitabilidad. Los resultados de la simulación del modelo se explicarán en el capítulo "Resultados y discusión" de este artículo.

DEFINICIÓN DE ESTRATEGIAS DE MEJORAMIENTO

A partir del modelo base, ajustado con los valores obtenidos por monitoreo, se evalúan aquí los impactos en la demanda energética al variar los siguientes parámetros de las características constructivas de la envolvente:

Transmitancia térmica de la envolvente expresada en la Tabla 3:

- Para muros, techos y cielorrasos se consideran tres niveles de análisis, considerando los niveles de confort higrotérmicos y su consecuente K MÁX ADM establecidos en la norma Argentina 11.605.

Nivel A: Recomendado
Nivel B: Medio
Nivel C: Mínimo

A fin de alcanzar dichos valores, se aplica el sistema EIFS (Exterior Insulation Finishing System) en la cara exterior de los muros, lana de vidrio de bajo de chapa galvanizada y lana de vidrio sobre las placas de roca de yesos, en el caso de cielorrasos. Debido a que las medidas comerciales de los aislantes difieren de las medidas mínimas teóricas calculadas, se decidió utilizar dimensiones existentes en el mercado local (1 cm, 2.5 cm, 5cm, 10 cm y 15 cm).

Ítem	E	Descripción	Estrategia	K	Ubicación
				(W/m ² K)	
S1	Muro	Sistema EIFS-EPS: 1cm	E1	1.04	Exterior
S2		Sistema EIFS-EPS: 2.5cm	E2-E15/E19	0.73	Exterior
S3		Sistema EIFS-EPS: 10cm	E3-E20/E24	0.29	Exterior
S4	Techo	Lana de vidrio: 2.5cm	E4	0.6	Inferior
S5		Lana de vidrio: 5cm	E5	0.43	Interior
S6		Lana de vidrio: 15cm	E6	0.21	Interior
S7	Aberturas	Doble vidrio hermético	E7-E17/E19-E22/E24	3.23	-
S8		Doble vidriado hermético, compuesto por 2 vidrios comunes incoloros de 3mm cada uno y una cámara de aire de 6mm + cortina de madera	E8	2.15	-
S9		Triple vidriado hermético, compuesto por 3 vidrios comunes incoloros de 3mm c/uno y 2 cámaras de aire de 6mm	E9	2.23	-
S10	Cielorrasos	Lana de vidrio: 2.5cm	E10	0.99	Superior
S11		Lana de vidrio: 5cm	E11-E16/E19	0.61	Superior
S12		Lana de vidrio: 15cm	E12-E21/E24	0.35	Superior
S13	Piso	EPS 2cm de 30Kg/m ³ sobre la platea	E13-E18/E19-E23/E24	1.11	Superior
S14	Infiltración	Aplicación de elementos de relleno en juntas o grietas, como son los acrílicos plasto-elástico, morteros o látex acrílico; o elementos por adhesión como cintas simples, de vinílico, de papel o textil. También se podría utilizar para sellar carpinterías, felpas, burletes, burletes cepillos entre marcos y paños móviles. Para restringir la infiltración por ductos se podrían utilizar materiales de relleno como son las siliconas o espumas poliuretánicas.	E14/E18-E20/E23	-	-

Tabla 3. Listado de soluciones evaluadas. Fuente: Elaboración de los autores.

- Para las aberturas, se proponen tres modificaciones de sencilla aplicación, minimizando los cambios estructurales en la vivienda, como los son las puertas y ventanas.
- Considerando la oscilación diaria de temperatura que se produce en el perímetro del piso (IRAM 11604, 2001), se evalúa la utilización de aislación sobre la vereda perimetral existente; solución de fácil aplicación.
- Infiltraciones: Se adopta en este caso el nivel de hermeticidad objetivo de 4 ACH a 50 p.a. de la norma chilena NTM 011/3 en el 2014. Esta norma corresponde a la clase de infiltración de aire máxima permitida en Chile para viviendas de características constructivas similares a las consideradas en este trabajo y se aplica para la zona térmica G del sur de Chile, equivalente climatológicamente a la zona argentina en estudio. Para la carga de datos, se tomó una tasa de renovación de aire de 0,50 y una sensibilidad al viento de 0,25 ACH.

incluidas en el modelo de simulación a efecto de evaluar sus aportes.

Las estrategias de mejoramiento se analizan de forma desagregada y conjunta, siendo analizadas en las estrategias E15 a E24 de manera simultánea.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

SIMULACIÓN DE LA VIVIENDA BASE

En base a los parámetros obtenidos por monitoreo, en la primera secuencia de simulación se observa que las demandas máximas se registran principalmente en la zona térmica del living comedor en los meses invernales, no obstante y de todas maneras, se advierte una presencia significativa en los meses tanto de otoño como de primavera. En verano también exhibe requerimientos de calefacción, aunque inferiores (Figura 5).

La demanda total obtenida por simulación es de 16.449 kWh anual, lo que corresponde por la unidad de superficie a 303 kWh/m². Estas demandas se deben fundamentalmente a pérdidas por ventilación e infiltración -en un 50%- y a pérdidas por conducción de la envolvente -en un 31% (Figura 6).

Planteadas las estrategias, la Tabla 3 sintetiza las especificaciones de cada una de ellas, las cuales han sido

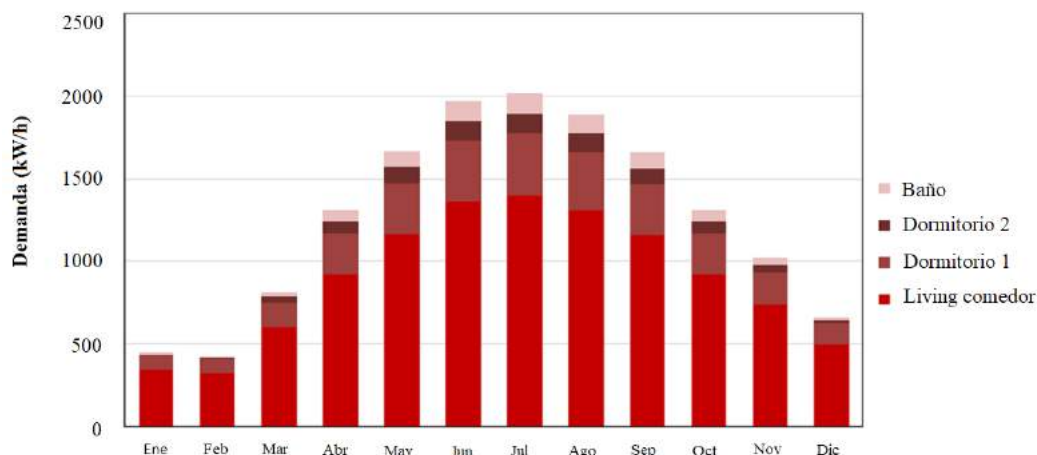


Figura 5. Distribución de demanda energética por local en estado base. Fuente: Elaboración de los autores.

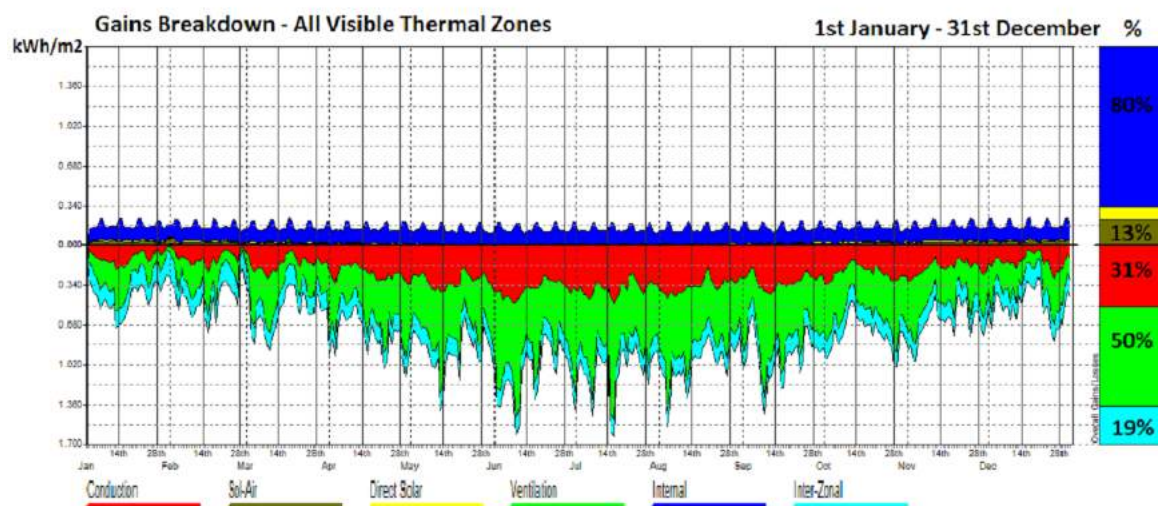


Figura 6. Contribución de las ganancias y pérdidas energéticas de forma horaria de todas las zonas térmicas de la vivienda. Fuente: Elaboración de los autores.

MODELOS MEJORADOS

A partir de lo observado en la vivienda base, se simulan las 24 estrategias descritas en la metodología y se identifica el porcentaje de reducción en la demanda energética.

En las E1 y E3 de mejoramiento del muro se observaron reducciones de entre 14.4% y 23%. Entre las E4 y E6, no se obtuvo una disminución en la demanda aplicando aislaciones debajo de la chapa del techo. Esto se puede deber principalmente a que no se modificó el nivel de infiltración de aire en el ático ventilado. En la E10 y E12 se aplican aislaciones sobre el cielorraso, lo que no sólo mejora las propiedades térmicas del complejo de cubiertas,

sino que, a la vez, reduce el volumen de aire a climatizar si es debidamente sellado, consiguiendo así reducir significativamente la demanda, entre 10.4% y 13.6%. En la E13 la aplicación de aislación térmica sobre la vereda perimetral produce una reducción de 6,4%, valor similar al obtenido por las estrategias aplicadas en las carpinterías (E7 a E9), lo cual se debe en gran parte a que la vivienda no presenta una gran superficie acristalada.

En la E14 se simuló la vivienda base solamente con la mejora en la hermeticidad al aire. Esta mejora se podría llevar a cabo a través de la aplicación de elementos de relleno en juntas o grietas, como son los acrílicos plasto-elástico, morteros o látex acrílico; o elementos por

		Variables de cálculo del ECOTEC													RESULTADO SIMULACIÓN calibración	
		Infiltración [ACH] a 50 Pa	Transmitancia Térmica [W/m²°C]												[kWh/m²/y en]	% reducción
			Muro exterior				Muro interior	Coladeras	Ventanas	Paredes		Piso		Techo		
Modelos		I	M1	M2	M3	M4	M5	C1	Vn	P1	Pv	P1L	P12	T1		
Estado base		11,9	1,53	1,5	1,36	1,53	2,43	2,6	5,44	2,6	5,44	2,29	1,31	0,95	370	100%
Niveles de referencia IRAM 11.605	C	11,9	1,39	1,39	1,39	1,39	2,43	2,6	5,44	2,6	5,44	2,29	1,31	0,95	345	6,9%
	B	11,9	0,8	0,8	0,8	0,8	2,43	2,6	5,44	2,6	5,44	2,29	1,31	0,67	307	17,2%
	A	11,9	0,3	0,3	0,3	0,3	2,43	2,6	5,44	2,6	5,44	2,29	1,31	0,26	286	22,8%
Estrategias evaluadas	E1	11,9	1,04	1,02	1,36	1,04	2,43	2,6	5,44	2,6	5,44	2,29	1,31	0,95	317	14,4%
	E2	11,9	0,73	0,72	0,71	0,73	2,43	2,6	5,44	2,6	5,44	2,29	1,31	0,95	303	18,9%
	E3	11,9	0,29	0,29	0,29	0,29	2,43	2,6	5,44	2,6	5,44	2,29	1,31	0,95	291	23,0%
	E4	11,9	1,53	1,5	1,36	1,53	2,43	2,6	5,44	2,6	5,44	2,29	1,31	0,6	360	2,8%
	E5	11,9	1,53	1,5	1,36	1,53	2,43	2,6	5,44	2,6	5,44	2,29	1,31	0,43	350	5,9%
	E6	11,9	1,53	1,5	1,36	1,53	2,43	2,6	5,44	2,6	5,44	2,29	1,31	0,21	350	5,5%
	E7	11,9	4,91	1,8	1,36	1,83	2,43	2,6	3,23	2,6	3,23	2,29	1,31	0,48	340	6,8%
	E8	11,9	1,53	1,5	1,36	1,53	2,43	2,6	2,15	2,6	2,15	2,29	1,31	0,95	340	6,8%
	E9	11,9	1,53	1,5	1,36	1,53	2,43	2,6	2,23	2,6	2,23	2,29	1,31	0,95	348	6,0%
	E10	11,9	1,53	1,5	1,36	1,53	2,43	0,99	5,44	2,6	5,44	2,29	1,31	0,95	332	10,4%
	E11	11,9	1,53	1,5	1,36	1,53	2,43	0,61	5,44	2,6	5,44	2,29	1,31	0,95	326	12,0%
	E12	11,9	1,53	1,5	1,36	1,53	2,43	0,35	5,44	2,6	5,44	2,29	1,31	0,95	320	13,8%
	E13	11,9	1,53	1,5	1,36	1,53	2,43	2,6	5,44	2,6	5,44	2,29	1,11	0,95	347	6,4%
	E14	4	1,53	1,5	1,36	1,53	2,43	2,6	5,44	2,6	5,44	2,29	1,31	0,95	244	34,2%
	E15	4	0,73	0,72	0,71	0,73	2,43	2,6	5,44	2,6	5,44	2,29	1,31	0,95	177	52,3%
	E16	4	0,73	0,72	0,71	0,73	2,43	0,61	5,44	2,6	5,44	2,29	1,31	0,95	140	62,1%
	E17	4	0,73	0,72	0,71	0,73	2,43	0,61	3,23	2,6	3,23	2,29	1,31	0,95	120	67,7%
	E18	4	0,73	0,72	0,71	0,73	2,43	0,61	3,23	2,6	3,23	2,29	1,11	0,95	98	73,5%
	E19	11,9	0,73	0,72	0,71	0,73	2,43	0,61	3,23	1,6	3,23	1,29	1,11	0,95	311	41,0%
	E20	4	0,29	0,29	0,29	0,29	2,43	2,6	5,44	2,6	5,44	2,29	1,31	0,95	166	55,3%
	E21	4	0,29	0,29	0,29	0,29	2,43	0,35	5,44	2,6	5,44	2,29	1,31	0,95	122	67,0%
	E22	4	0,29	0,29	0,29	0,29	2,43	0,35	3,23	2,6	3,23	2,29	1,31	0,95	104	71,9%
	E23	4	0,29	0,29	0,29	0,29	2,43	0,35	3,23	1,6	3,23	1,29	1,11	0,95	94	74,6%
	E24	11,9	0,29	0,29	0,29	0,29	2,43	0,35	3,23	2,6	3,23	2,29	1,11	0,95	198	46,0%

Tabla 4. Definición de demanda energética de la vivienda por estrategia. Fuente: Elaboración de los autores.

adhesión como cintas simples, de vinílico, de papel o textil. También se podría utilizar para sellar carpinterías, felpas, burletes, burletes cepillos entre marcos y paños móviles. Para restringir otras infiltraciones se podría emplear materiales de relleno, por ejemplo, siliconas o espumas poliuretánicas. Aunque todas estas soluciones requieren de un trabajo minucioso de aplicación, en el que se debe identificar de manera particular cada punto de fuga, no son de alto costo económico. Así, en esta simulación se consiguió una reducción en la demanda de 34.2% en relación a la vivienda base.

Una vez examinadas las estrategias en forma independiente, se optó por hacer una combinación de las mismas. De la E15 a la E18 se analiza la aplicación de medidas conjuntas considerando el nivel B, mientras que de la E19 a la E23 se analiza con el nivel A. En ambos casos se logran reducciones

similares, y en el caso de aplicar todas las medidas, la reducción de la demanda se encuentra en un rango de 73,5% a 74,6%.

Por último, en E19 y E24 se plantearon las mismas medidas que en E18 y E23, respectivamente, pero sin modificar la hermeticidad al aire, y se obtuvo una reducción del 43% y 46%.

La Tabla 4 sintetiza las características técnicas de la situación base y los niveles de referencia a alcanzar (A, B, C de IRAM), como también las estrategias y los resultados obtenidos en cada simulación.

TRABAJOS FUTURO

En el futuro se prevé cotejar los resultados sobre las medidas analizadas mediante Ecotec con otros simuladores de difusión internacional, tales como Design Builder o Energyplus, con la finalidad de

robustecer su validación. Uno de los aspectos que es necesario ajustar, en este sentido, para obtener mejores resultados en los modelos actuales es establecer con mayor precisión los horarios de uso principal y rangos de confort diferenciados en cada uno de los locales simulados.

CONCLUSIONES

El trabajo presentado aquí toma como insumo los lineamientos desarrollados por Rodríguez (2015) en el marco del PIP 097 y su desarrollo permite identificar y desagregar las pérdidas térmicas más relevantes de la envolvente, así como evaluar y cuantificar el impacto en la demanda energética al aplicar las diferentes mejoras, ya que las medidas identificadas presentan una alta replicabilidad en las viviendas sociales de la localidad.

En base a los resultados obtenidos, tanto por auditorías energéticas como por simulación, se puede considerar un orden de acción para la aplicación de medidas, determinado por sus impactos en la demanda energética:

Es determinante la definición, diseño y aplicación de programas educativos de concientización sobre el uso racional y eficiente de la energía.

La medida de mayor impacto para llevar a cabo el reciclado edilicio de una vivienda en climas muy fríos de la Patagonia es el control de las infiltraciones de aire en la construcción. Aplicar una mejora a este parámetro, podría significar una reducción del 30% de las demandas energéticas, entendiendo que su resolución es sencilla y económica, para el propietario con pocos recursos. Estimaciones a nivel global de esta reducción podrían proporcionar importantes ahorros con costos de inversión cercanos a cero.

Por otro lado, el mejoramiento de los muros y los cielorrasos (dada su mayor superficie de exposición), constituye una medida de impacto significativo; impacto que es menor en el caso de la optimización de los pisos en contacto con el ambiente exterior y las carpinterías. El potencial de ahorro energético por la aplicación del nivel B en toda la envolvente, puede alcanzar un 73,4%.

No se observan importantes diferencias entre el nivel A o B de la envolvente, por lo que se considera que el nivel B presentaría una mayor accesibilidad en cuanto a los costos. La aplicación de las medidas propuestas disminuiría, a su vez, los riesgos de condensación intersticial y superficial de los elementos, evitándose de esta manera deterioros de las condiciones de habitabilidad, como son las bajas temperaturas superficiales y la proliferación de microorganismos dañinos para la salud humana. Adicionalmente, diversos investigadores consideran que la calidad constructiva de la envolvente de la vivienda social debe atender no solo los parámetros técnicos y legales, sino también a las expectativas de los usuarios (Blumeschein *et al.*, 2015).

Las propuestas de eficiencia energética y el alto índice de replicabilidad que presenta la vivienda tipo seleccionada (645 casos en el barrio de pertenencia y aproximadamente 4.000 tipologías similares en la localidad), implican una mejora en la habitabilidad y un significativo impacto en cuanto al ahorro energético. Su generalización permitirá minimizar sustantivamente el consumo de combustibles fósiles y favorecer la mitigación de la pobreza energética en el sector. Y su relevancia aumenta si consideramos que existen aproximadamente 1.500.000 viviendas sociales en el país. Si nos referimos a los sistemas constructivos, en general, en cuanto a materialidad y formas de implantación en el terreno, los relevamientos de campo realizados por el equipo de trabajo han detectado características similares en el conjunto de las viviendas privadas particulares, situación que permite inferir una posible ampliación del impacto considerado. Si bien la demanda de energía alcanzada con las mejoras aún es elevada (90 kWh/año) respecto a los valores obtenidos en viviendas de similares características localizadas en otras regiones que rondan entre los valores 70 y 40 kWh/año (Garganta y San Juan, 2014; Celis Damico *et al.*, 2012), se comprende aquí la necesidad de accionar al respecto. Dicha iniciativa mejorará la relación energía/habitabilidad para climas fríos, con miras a alcanzar niveles semejantes a los países desarrollados, y hará posible afrontar los nuevos cuadros tarifarios en el marco de las quitas de subsidios aplicados sólo al consumo. En definitiva, promover las mejoras edilicias contribuirá a una mayor eficiencia energética y a una menor demanda del sector.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer al propietario de la vivienda por darnos la posibilidad de llevar a cabo el estudio, a la Municipalidad de S. C. de Bariloche por su aporte instrumental y al Ing. Tomás Martiarena por sus aportes técnicos en la lectura de imágenes termográficas.

Investigación financiada por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas de Argentina. Proyecto PIP 112-2011-0100097, CONICET.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSEN, Micaela; HERNÁNDEZ, Alejandro y DISCOLI, Carlos Alberto. Auditoría energética de una vivienda social en climas fríos y comparación de pérdidas térmicas por infiltración y transmisión. Acta de la XL Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente, 2017, vol. 5, pp. 05.13-05.24.

ANDERSEN, Micaela; MARTINI, Irene; DISCOLI, Carlos Alberto y GASPARI, Jacopo. Energy consumption and dwelling characteristics in households typology in The City of S. C. De San Carlos De Bariloche, Argentina. En: Central Europe towards Sustainable Building, Sustainable Renovation of Existing Building Stock, 2016, pp. 25-32.

CELIS DAMICO, Flavio; GARCÍA ALVARADO, Rodrigo; TREBILCOCK KELLY, Maureen; ESCORCIA OYOLA, Olavo; MIOTTO BRUSCATO, Underlea y DÍAZ, Muriel. Análisis energético de las viviendas del centro-sur de Chile. ArQUITETURAREVISTA, 2012, vol. 8, n° 1, pp. 62-75.

CERÓN-PALMA, Ileana; SANYÉ-MENGUAL, Esther; OLIVER-SOLÀ, Jordi; MONTERO, Juan-Ignacio y RIERADEVALLAF, Joan. Towards a green sustainable strategy for social neighbourhoods in Latin America: case from social housing in Merida, Yucatan, Mexico. Habitat International, 2013, vol. 38, p. 47-56.

CZAJKOWSKI, Jorge y GÓMEZ, Analía. Introducción al diseño bioclimático y la economía energética edilicia. La Plata: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata, colección Cátedra, 1994.
Diario ANB [en línea]. [Consultado 27 diciembre 2017]. Disponible en: <http://www.anbariloche.com.ar/noticias/2016/06/03/53371-645-viviendas-uno-de-los-barrios-mas-jovenes-de-bariloche>.

DÍAZ, Cristian Jorge y CZAJKOWSKI, Jorge. Auditorías energéticas en viviendas de interés social en Río Grande, Tierra del fuego. AVERMA, 2006, vol. 10, pp. 07.33-07.38.

FERGUSON, Bruce y NAVARRETE, Jesús. New approaches to progressive housing in Latin America: A key to habitat programs and policy. Habitat International, 2003, vol. 27, n° 2, pp. 309-323.

GARCÍA RODRÍGUEZ, Salvador; DAVIS CAMPOY, Miguel; CAMPOS CANTU, Eva y LEYVA ORIHUELA, Elizabeth. Propuesta de modelo integral de evaluación sostenible de la vivienda social en México. Ambiente Construido, 2015, vol. 15, n° 4, pp. 7-17.

GARGANTA, María Laura y SAN JUAN, Gustavo. Análisis del comportamiento energético y ambiental de la producción de viviendas sociales en la provincia de Buenos Aires (2003-2011). Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 2012, vol. 14, pp. 07-07.

GONZÁLEZ, Alejandro; CRIVELLI, Ernesto y GORTARI, Sebastián. Eficiencia en el uso del gas natural en viviendas unifamiliares de la ciudad de Bariloche. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 2006, vol. 10, pp. 07.01-07.08.

GONZÁLEZ COURET, Dania. Medio siglo de vivienda social en Cuba. Revista INVI, 2009, vol. 24, n° 67, pp. 69-92.

INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN Y CERTIFICACIÓN (IRAM). Normas Técnicas Argentinas: 11601 (2004); 11603 (1996); 11604 (2004); 11605 (2002). Buenos Aires, Argentina.

MASCARÓ, Juan Luis. Variación de los costos de los edificios con las decisiones arquitectónicas. Revista Universidad Nacional de La Plata, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, 1983, pp.137.

MERCADO, María Victoria; ESTEVES, Alejandro; FILIPPÍN, Celina y NAVARRO, Lía. Evaluación Térmico-Energético y Cualitativa de Condiciones Ambientales de Una Vivienda Social de la Ciudad de Mendoza: condiciones reales de uso y estrategias de mejoramiento térmico-energético bioclimático. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 2008, vol. 12, n° 5, pp. 73-80.

MERCADO, María Victoria; ESTEVES, Alfredo y FILIPPÍN, Celina. Comportamiento térmico-energético de una vivienda social de la ciudad de Mendoza, Argentina. Revista Ambiente Construido, 2010, vol. 10, n° 2, pp. 87-100.

MINISTERIO DE INFRAESTRUCTURA de BUENOS AIRES. La habitación popular bonaerense 1943-1955. Aprendiendo de la historia. Buenos Aires, 1a ed., CEDODAL, 2011.

PÉREZ, Alex Leandro. La calidad del hábitat para la vivienda de interés social. Soluciones desarrolladas entre el 2000 y el 2007 en Bogotá. Revista INVI, 2011, vol. 26, n° 72, pp. 95-126.

REIS, Antonio Tarcisio da Luz y LAY, Maria Cristina Días. O projeto da habitação de interesse social e a sustentabilidade social. Ambiente construído: revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Porto Alegre, RS, 2010, vol. 10, n° 3, pp. 99-119.

RODRÍGUEZ, Alfredo; SUGRANYES, Ana. El problema de vivienda de los "con techo". EURE (Santiago), 2004, vol. 30, n° 91, pp. 53-65.

RODRÍGUEZ, Lucas. Instrumentación metodológica para el reciclado masivo de la edificación residencial orientada a la eficiencia energética. Tesis doctoral inédita en Ciencias área Energías Renovables, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Salta, 2015.

RODRÍGUEZ, Lucas; MARTINI, Irene y DISCOLI, Carlos Alberto. Metodología para el análisis del reciclado edilicio residencial orientado a la eficiencia energética: índice de elasticidad energético-económico. Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, 2012, vol. 14, pp. 5-51.

VAGGE, Carolina; CZAJKOWSKI, Jorge y FILIPPÍN, Celina. Análisis del consumo de gas natural en una vivienda de la ciudad de La Plata. AVERMA, 2008, vol. 12, pp. 05.81-05.87.